

# SEINÄSAMMAL- JA MAANÄYTTEIDEN METALLIPI- TOISUUSTUTKIMUKSET VUONNA 2005

Enonkosken entisen nikkeli-kaivoksen ympäristö ja  
malmin rikasteen kuljetusreitti



## SISÄLLYSLUETTELO

<b>1. JOHDANTO.....</b>	<b>2</b>
<b>2. TUTKIMUKSEN TOTEUTUS.....</b>	<b>3</b>
2.1 Näytepisteet ja näytteiden otto.....	3
2.2 Monialkuaineanalyysi.....	4
<b>3. TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU.....</b>	<b>4</b>
3.1 Nikkelipitoisuudet seinäsammalnäytteissä.....	5
3.2 Muut analysoidut pitoisuudet seinäsammalnäytteissä .....	7
3.3 Nikkelipitoisuus maanäytteissä .....	10
3.4 Muut analysoidut pitoisuudet maanäytteissä.....	11
<b>4. JOHTOPÄÄTÖKSET.....</b>	<b>14</b>
<b>5. TULOSTEN VERTAILU MUIHIN TUTKIMUKSIIN.....</b>	<b>16</b>
5.1 Pohjois-Euroopan sammalkartoitus vuonna 1995.....	17
<i>KIRJALLISUUS .....</i>	<i>17</i>

## 1. JOHDANTO

Savonlinnan ympäristönsuojelulautakunta on tehnyt syksyisin yhtenä ympäristön tilan seurantatutkimuksena raskasmetallitutkimuksen vuoden 1994 lopussa toimintansa lopettaneen Enonkosken nikkeli-kaivoksen ympäristön ja malmirikasteen kuljetusreitinvareilta otetuista seinäsammalnäytteistä (*Pleurozium schreberi*). Tutkimus on tehty yhteistyössä mm. Enonkosken kunnan ja kaivosyhtiön kanssa. Kaivostoiminnan loputtua kaivosalueen ympäristössä tehtiin vielä useita vuosia mittavia maansiirtotöitä kuten rikastehiekka-altaiden peittäminen (mm. vuonna 1998), joilla kaivosalue viimeisteltiin siten, että sieltä pääsee ympäristöön mahdollisimman vähän malmirikastetta sisältäviä valumia vesistöön ja pölyä ilmaan. Outokumpu Finnmines Oy:n Enonkosken entisen nikkeli-kaivoksen ympäristön seurantatutkimuksia on tehty 1990-luvun alusta lähtien aluksi vuosittain ja sittemmin kaivostoiminnan loppumisen jälkeen määrävuosina. Tutkimuksissa on seurattu lähinnä seinäsammalen sekä yhteistyössä ympäristöterveysvalvonnan kanssa puolukoiden ja haaparouskujen raskasmetallipitoisuuksia.

Seinäsammalnäytteiden ohella ympäristönsuojelulautakunta on käyttänyt laskeuman määrää tutkittaessa aiemmin myös sammalpallomenetelmää rahkasammalilla (*Sphagnum* sp.). Maassa kasvavista seinäsammaleista otettujen näytteiden ja puihin ripustettujen rahkasammalpallojen, jotka ovat ennen puihin ripustamista peity typpihapolla, ero on siinä, että seinäsammalnäytteiden tulokset edustavat laskeuman määrää pitkällä aikavälillä ja sammalpallojen tulokset lyhyellä aikavälillä. Viimeksi sammalpallo tutkimus on tehty talvitilanteessa marraskuun 1997 – tammikuun 1998 välisenä aikana ja kesätilanteessa toukokuun – heinäkuun 1998 välisenä aikana. Tässä seinäsammaltutkimuksessa on nimenomaan pyritty selvittämään malmirikastepölystä peräisin olevaa laskeumaa ja sen aiheuttamia pitoisuusarvomutoksia pitkällä aikavälillä. Viimeksi vastaava tutkimus on tehty vuonna 2001. Koska kaivostoiminnan loputtua metallipitoisuuksia kaivosalueen ympäristössä ja sinne johtavan tien varrella nostaneet kaivoksen jälkihoitotyöt on saatu valmiiksi ja siitä aiheutunut liikenne loppunut, seinäsammaltutkimusta katsottiin perustelluksi supistaa vuonna 2005 aiempiin vuosiin verrattuna siten, että mukaan otettiin aiempaa vähemmän näytteenottopisteitä. Vuonna 2005 seinäsammal- ja maanäytteet analysoitiin GTK:n laboratoriossa Kuopiossa.

Sammalet soveltuvat hyvin tämänkaltaiseen biomonitorointiin. Tiheä sammalmatto pidättää lähes kaiken hiukkasten muodossa tulevan laskeuman. Lisäksi sekovartistet sammalet ottavat tarvitsemansa alkuaineet suoraan sadevedestä, ei maaperästä, minkä vuoksi ne soveltuvat hyvin raskasmetallilaskeuman tutkimiseen. Sammalien ionienkeruutehokkuus perustuu niiden huokoiseen rakenteeseen ja ravinnefysiologiaan. Ne ottavat ravinteensa ja samalla mahdolliset haitta-aineet kuiva- ja märkälasseumasta koko pinta-alallaan. Pohjois-Eurooppalaisissa bioindikaattoritutkimuksissa käytetään yleisesti kahta sammalajia, metsäkerrossammalta (*Hylocomium splendens*) ja seinäsammalta, lähinnä niiden laajan levinneisyyden, runsauden ja suhteellisen helpon tunnistettavuuden vuoksi.

## 2. TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

### 2.1 Näytepisteet ja näytteiden otto

Entisen kaivoksen ympäristöstä ja malmirikasteen kuljetusreitien varrelta otettiin vuonna 2005 seinäsammalnäytteet samoista näytteenottopaikoista, joita on käytetty vuodesta 1990 lähtien. Kustakin näytteenottopaikasta otettiin yksi sammalnäyte ns. kokoomanäytteenä. Tällä kertaa seinäsammalnäytteiden metallipitoisuuksien määrittämiseen sisältyi kuusi näytettä, kukin eri tutkimuspisteestä. Näytteet otettiin 21.9.2005 malmirikasteen kuljetusreitien varrelta kaivosalueelta Juvolantielle johtavan Laukunkankaantien ns. L-mutkasta (rikastejätealtaan kulmasta), noin puolikilometriä eteenpäin jyrkän alamäen varrelta, Juvolantien ns. T-risteyksestä ja Niitylahdentien risteyksestä. Lisäksi otettiin yksi näyte rautatiekuljetusreitien varrelta Louhikumusta (Silvolan ja Pääskylahden asemien puolivälistä) noin 4,5 kilometrin päästä Kerimäen asemalla Silvolassa sijainneesta malmirikasteen lastauspaikasta. Näyte otettiin ratapenkasta kiskoista mitattuna noin 5 metrin etäisyydeltä. Kuudes näyte otettiin 3000 m kaivosalueesta luoteeseen sijaitsevasta Oravin suunnan pisteestä läheltä Juvolantietä, josta on (pääosin muista kuin kaivostoiminnan vaikutuksesta kuten peltolannoitteista ja läheisestä sähkölinjasta johtuen) saatu vastavissa tutkimuksissa ajoittain korkeita metallipitoisuuksia. Näytteet pyrittiin ottamaan mahdollisimman läheltä kuljetusreittiä, mutta käytännön syistä (sammalten esiintyminen) eri kohteissa etäisyys vaihtelee jonkin verran. Kaikki maantiekuljetusreitien varren näytteet otettiin tienlaidasta mitattuna noin 10 metrin etäisyydeltä.

Malmin louhintaan ja kuljetuksiin verrattuna mahdollisimman luonnontilaisen alueen vertailupisteinä maantiekuljetusreitien tuloksille käytettiin Pihlajaveden eteläpuolelta Ahvionniemessä sijaitsevaa tutkimuspistettä, noin 38 kilometriä linnuntietä etelään Enonkosken kaivosalueesta. Kaikissa vuodesta 1990 lähtien tehdyissä tutkimuksissa on käytetty vertailupisteinä tätä samaa Ahvionniemen tutkimuspistettä. Vuonna 2005 vertailunäytettä ei otettu lainkaan, koska Ahvionniemen vertailunäytteen raskasmetallipitoisuuksien taso on ollut vuosina 1996 – 2000 hyvin samansuuruinen ja nikkelpitoisuuden suhteen aina määrittysrajan tuntumassa 1 – 2 mg/kg kuiva-ainetta.

Vertailunäytteenä rautatiekuljetusreitille käytettiin vuosina 1992 ja 1995 otettua näytettä Kulenoisista. Tämän vertailunäytteen nikkelpitoisuus on vaihdellut 4,6 – 10,8 mg/kg välillä.

Seinäsammalnäytteissä vuonna 2005 havaitut kohonneet nikkeli- ja kuparipitoisuudet antoivat aiheen jatkotutkimukselle maanäytteistä, jotka otettiin 12.10.2005 kolmesta tutkimuspisteestä maantiekuljetusreitien varrelta, jotka käsittivät maantiekuljetusreitien kolme ensimmäistä ja samaa tutkimuspistettä kuin seinäsammalnäytteiden kohdalla. Näistä L-mutkasta ja T-risteyksestä otettiin kustakin yksi maanäyte, sen sijaan alamäestä otettiin kaksi näytettä eri etäisyyksiltä tiestä. Maanäytteet otettiin tienpientareelta läheltä asfaltin reunaa ja alamäen varrelta lisäksi yksi näyte noin kuuden metrin päästä asfaltin reu-

nasta ojan takaisesta maanleikkauspenkasta. Vertailunäyte maanäytteille otettiin kaupungin länsipuolelta Pihlajaniementien varrelta, Antosaaren tienhaaran tienoilta tienpientareelta läheltä asfaltin reunaa.

Sammalnäytteet ottivat vuonna 2005 Savonlinnan kaupungin ympäristönsuojelusihteri Matti Rautiainen ja ympäristönsuojelusuunnittelija Merja Tiainen ja maanäytteet Matti Rautiainen. Maanäytteiden yhteydessä nikkelirikasteen kuljetusreitit varrelta ympäristöterveysvalvonnan terveystarkastaja Tiina Munck poimi puolukoita, jotka laitettiin pakkasvarastoon odottamaan maaperänäytteiden määrittystuloksia. Puolukkanäytteiden monialkuainemäärityksen tarve ratkaistaan myöhemmin maaperänäytteiden määrittystulosten perusteella.

## 2.2 Monialkuaineanalyysi

Ennen monialkuainemääritystä ICP - AES -tekniikalla sammalnäytteet kuivatettiin 70 °C:ssa, hienonnettiin leikkaavalla myllyllä ja liotettiin typpihapolla mikroaaltouunissa. Maanäytteet esiseulottiin niiden ottopaikoilla noin 4 mm:n muoviseulalla. Ennen monialkuainemääritystä GTK:n laboratoriossa Kuopiossa maanäytteet seulottiin vielä 2 mm seulalla ja tehtiin kuningasvesiuutto.

Geologian tutkimuskeskuksen geolaboratoriossa kustakin näytteestä analysoitiin 25 alkuainepitoisuutta vuonna 2005. Raskasmetalleista analysoitiin kadmium (Cd), koboltti (Co), kromi (Cr), kupari (Cu), rauta (Fe), mangaani (Mn), molybdeeni (Mo), nikkeli (Ni), lyijy (Pb), titaani (Ti), vanadiini (V), sinkki (Zn) ja vuonna 2000 sekä 2005 zirkonium (Zr). Lisäksi metalleihin lukeutuvista alkuaineista analysoitiin alumiini (Al), barium (Ba), vuonna 2000 beryllium (Be), kalsium (Ca), kalium (K), magnesium (Mg), natrium (Na) ja strontium (Sr). Puolimetalleista analysoitiin arseeni (As) ja antimoni (Sb) ja epämetalleista boori (B), fosfori (P) ja rikki (S). Aiemmissä tutkimuksissa analysoitiin 26 alkuainepitoisuutta vuonna 2000 ja 24 vuonna 2001. Eroavaisuudet analysoitujen aineiden määrissä eri vuosina johtuvat analysointimenetelmistä.

## 3. TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

Malmirikasteen vaikutus näkyi selvimmin seinäsammalnäytteiden nikkelpitoisuuksissa ja varsinkin alamäen varrelta otetussa näytteessä, joka oli suunnilleen satakertainen vertailupisteen ”luonnontasoon” verrattuna. Tästä osa voi selittyä vanhoilla tekijöillä eli rikastepölyä on joutunut hitaasti kasvavaan sammalikkoon jo kaivoksen toiminnan aikana. Myös kuparipitoisuus seinäsammalnäytteissä oli edelleen koholla (malmista rikastettiin kaivoksen alkuvuosina myös kuparia). Valtaosin muut määrityksessä havaitut poikkeamat ovat selitettävissä liikenneperäisillä päästöillä ja peltolannoitteiden vaikutuksilla. Malmirikasteen kuljetusreitin varren maanäytteissä nikkeli- ja kuparipitoisuudet olivat koholla enimmillään yli kymmenkertaisina vertailupisteen vastaviin pitoisuuksiin verrattuna. Muiden määritettyjen alkuaineiden osalta ei kuljetusreitin varren pitoisuusarvot merkittävästi poikenneet vertailupisteen vastavista arvoista.

### 3.1 Nikkelpitoisuudet seinäsammalnäytteissä

Tutkimustuloksia voidaan verrata vain nikkelin osalta 1990-luvun alkuvuosien vastaaviin tutkimustuloksiin, koska tuolloin keskityttiin lähinnä seinäsammalen nikkelpitoisuuksien määrittämiseen Enonkosken kaivoksen ympäristössä ja malmirikasteen kuljetusreitin varrella.

Maantiekuljetusreitin nikkelpitoisuuden keskiarvo on laskenut huomattavasti 1990-luvun alkuvuosista (263,3 mg/kg kuiva-ainetta) vuoteen 2005, jolloin maantiekuljetusreitin nikkelpitoisuuden keskiarvo oli 84,7 mg/kg. Savonlinnan seudun luonnontasona pidettävän vertailupisteen nikkelpitoisuus seinäsammalen osalta on ollut vuosien 1990 – 2000 aikana keskimäärin 2,5 mg/kg, kun määritysrajana on joinakin vuosina esitetty 1 mg/kg ja toisina 2 mg/kg.

Nikkelpitoisuudet ovat selkeästi alentuneet myös kaikissa yksittäisissä näytteenottopaikoissa 1990-luvun alkuvuosien pitoisuuksiin verrattuna. Maantiekuljetusreitin varrelta analysoitiin seinäsammalen nikkelpitoisuuksiksi vuonna 2005 kaivosalueelta Savonlinnan suuntaan johtavan Laukunkankaantien L-mutkassa 28,4 mg/kg, Laukunkankaantien alamäen varrella 225 mg/kg, Juvolantien risteyksessä 71,7 mg/kg ja Niittylahdentien risteyksessä 13,6 mg/kg. Näin ollen L-mutkassa vuoden 2005 pitoisuudet olivat noin viidestoistaosa verrattuna huippupitoisuuksiin 412,0 mg/kg vuonna 1991. Alamäen ja Juvolantien risteyksen pitoisuudet olivat vuonna 2005 korkeammat kuin muutamana aiempina vuonna, mutta verrattuna samoista pisteistä 1990-luvun alkuvuosina havaittuihin huippupitoisuuksiin 449,0 mg/kg (alamäki, 1994) ja 269,0 mg/kg (Juvolantien risteys, 1991) vuoden 2005 pitoisuudet olivat huomattavasti alhaisemmat. Niittylahdentien risteyksen huippupitoisuus oli 181,0 mg/kg vuonna 1991, johon verrattuna vuoden 2005 pitoisuus oli vain noin kymmenesosa.

Maantiekuljetusreitin alkupäässä seinäsammalen nikkelpitoisuudet olivat kuitenkin vielä vuonna 2005 lähellä tietä noin 11...90-kertaisia vertailupisteen

”luonnontasoon” nähden. Vastaavien paikkojen huippupitoisuudet 1990-luvun alussa olivat 412 mg/kg, 449 mg/kg, 269 mg/kg ja 181 mg/kg eli jopa yli 170-kertaisia ”luonnontasoon” nähden. Vuonna 2001 maantiekuljetusreitin alkupäässä seinäsammalen nikkelpitoisuudet olivat noin kymmenkertaisia ”luonnontasoon” nähden, joten vuoden 2005 pitoisuuskeskiarvo oli tätä hieman korkeampi johtuen kahdessa tutkimuspisteessä (alamäki ja T-risteys) havaituista korkeista nikkelpitoisuuksista. Sen sijaan L-mutkan ja Niittylahden kohdalla seinäsammalen nikkelpitoisuus oli vuonna 2005 samaa suuruusluokkaa vuoden 2001 tutkimustuloksen kanssa. Mahdollisesti tuloksissa eri vuosina esiintyvää vaihtelua selittävät myös erilaiset näytteenottoon liittyvät vaihtelut, koska näytettä ei välttämättä ole eri vuosina otettu täsmälleen samasta kohtaa tutkimuspistettä ja pitoisuuksiin voivat vaikuttaa myös paikalliset vaihtelut ympäristöolosuhteissa tutkimuspisteen sisällä.

Rautatiekuljetusreitin varrelta sammalnäyte otettiin vuonna 2005 Louhikumusta, jossa sammalen nikkelpitoisuus on tasaisesti laskenut vuoden 1992 tasolta 131 mg/kg vuonna 2005 analysoidulle tasolle 20,8 mg/kg. Rautatiekuljetusreitin vertailunäytteen (Kulennoinen) pitoisuus on eri vuosina ollut keskimäärin 7,7 mg/kg. Näin ollen rautatiekuljetusreitin varrella rautatien välittömässä läheisyydessä seinäsammalen nikkelpitoisuus Louhikumussa oli vuonna 2005 enää noin kaksinkertainen vertailupisteen tasoon nähden, kun pitoisuus oli vuonna 1992 enimmillään miltei 20-kertainen vertailupisteeseen verrattuna. Rautatiekuljetusreitin varrelta on aiemmin otettu sammalnäytteet vuosina 1992, 1995 ja Louhikumusta myös 1998. Apajaniemessä vastaava pitoisuus oli 20,8 mg/kg vuonna 1995.

Vuonna 2005 pitoisuudet Oravin suunnassa 3000 metrin etäisyydellä kaivosalueesta olivat 3,9 mg/kg, mikä on enää noin puolitoistakertainen vertailupisteen ”luonnontasoon” nähden. Vastaavan paikan huippupitoisuus oli vuonna 1994 80,0 mg/kg eli yli 30-kertainen ”luonnontasoon” nähden. Vuonna 2000 kyseisen tutkimuspisteen nikkelpitoisuus oli 33,2 mg/kg, joten pitoisuudessa oli havaittavissa selvää laskua aiempaan tutkimukseen verrattuna.

Vuonna 2005 näytteitä ei enää otettu muista tutkimuspisteistä rautatiereitin varrelta tai kaivoksen läheisyydestä. Nikkelpitoisuudet olivat vuonna 2001 kaivosaluetta lähimmillä 300 m:n näytteenottopaikoilla Makkolan suunnassa 18 mg/kg, Enonkosken suunnassa 10 mg/kg ja Oravin suunnassa 5,6 mg/kg kun vastaavien paikkojen huippupitoisuudet olivat 1990-luvun alussa 116 mg/kg, 180 mg/kg ja 107 mg/kg. Siten vuonna 2001 seinäsammalen nikkelpitoisuudet olivat 300 metrin etäisyydellä kaivosalueesta enää noin 2 - 8-kertaisia vertailupisteen ”luonnontasoon” nähden, kun ne enimmillään olivat yli 70-kertaisia.

Vuonna 2001 pitoisuudet 800 metrin etäisyydellä kaivosalueesta olivat Makkolan suunnassa 4 mg/kg, Enonkosken suunnassa 6 mg/kg ja Oravin suunnassa 6 mg/kg, kun vastaavien paikkojen huippupitoisuudet olivat 1990-luvun alussa 57 mg/kg, 49 mg/kg ja 40 mg/kg. Siten vuonna 2001 seinäsammalen nikkelpitoisuudet 800 metrin etäisyydellä kaivosalueesta olivat enää noin 1,5...3-kertaisia vertailupisteen ”luonnontasoon” nähden, kun ne enimmillään olivat yli 20-kertaisia.

Vuonna 2000 pitoisuudet 1500 metrin etäisyydellä kaivosalueesta olivat Makkolan suunnassa 4 mg/kg, Enonkosken suunnassa 20 mg/kg ja Oravin suunnassa 4 mg/kg (vuonna 2001 tai 2005 kyseistä paikoista ei otettu näytteitä). Siten 1500 metrin etäisyydellä kaivosalueesta seinäsammalen nikkelpitoisuudet ovat (Enonkosken suunnassa ilmeisesti ympäröivästä maankäytöstä johtuvaa poikkeuksellista pitoisuusarvoa lukuun ottamatta) enää vajaa kaksinkertaisia vertailupisteen ”luonnontasoon” nähden. Vastaavien paikkojen huippupitoisuudet 1990 –luvun alussa olivat 23 mg/kg, 24 mg/kg ja 19 mg/kg eli noin 7...10-kertaisia luonnontasoon nähden. Vuonna 2000 pitoisuudet 3000 metrin etäisyydellä kaivosalueesta olivat Makkolan suunnassa 4 mg/kg, Enonkosken suunnassa 3 mg/kg ja Oravin suunnassa 33 mg/kg. Siten 3000 metrin etäisyydellä kaivosalueesta seinäsammalen nikkelpitoisuudet ovat (Oravin suunnassa ilmeisesti ympäröivästä maankäytöstä johtuvaa poikkeuksellista pitoisuusarvoa lukuun ottamatta) enää noin kaksinkertaisia ”luonnontasoon” nähden. Vastaavien paikkojen huippupitoisuudet vuosina 1993 - 1994 olivat 11 mg/kg, 10 mg/kg ja 80 mg/kg.

### 3.2 Muut analysoidut pitoisuudet seinäsammalnäytteissä

Vuosien 1998 – 2005 tulosten mukaan malmirikasteen vaikutusta sammalnäytteistä analysoituihin pitoisuuksiin ei voida yksiselitteisesti osoittaa muiden alkuaineiden kuin nikkelin ja kuparin osalta. Muiden analysoitujen alkuaineiden pitoisuuksien vaihtelu näytteenotto paikkojen ja –vuosien välillä aiheutunee enemmänkin erilaisista näytteenottoon liittyvistä virhelähteistä ja / tai ympäröivän maankäytön erilaisuudesta kuin malmirikastepölyn sisältämistä ”epäpuhtauksista”.

Verrattaessa vuoden 2005 tuloksia aiempien vuosien (1998 – 2001) tuloksiin voidaan havaita pitoisuuksissa vaihtelua, joskaan selkeää nousevaa tai laskevaa trendiä ei ole havaittavissa tällä aikavälillä. Vuonna 2001 voitiin todeta monien alkuaineiden pitoisuusarvojen laskeneen merkittävästi vuoden 1998 tuloksiin verrattuna. Lasku ei kuitenkaan jatkunut vuoden 2005 tuloksissa, jolloin pitoisuudet olivat useimpien analysoitujen alkuaineiden suhteen samalla tasolla kuin vuonna 1998 ja näin ollen korkeammat kuin edellisessä tutkimuksessa vuonna 2001. Toisaalta vuonna 2001 havaittuihin alhaisiin pitoisuuksiin ei voida löytää selittävää tekijää ympäröivän maankäytön olennaisesta muutoksesta eikä malmirikastepölyn suorasta vaikutuksesta, vaan ilmeisestikin kyse saattoi olla vähentyneen liikenteen vaikutusta.

**Alumiinin** suhteen maantiekuljetusreitien pitoisuuskeskiarvo oli 3128,8 mg/kg vuonna 2005 joka on korkein tähän asti maantiekuljetusreitiltä havaittu alumiinin pitoisuuskeskiarvo. Keskiarvoon vaikutti suuresti yhdestä tutkimuspisteestä (T-risteys) analysoitu muita korkeampi alumiinipitoisuus, joka nosti myös koko maantiekuljetusreitien alumiinipitoisuuden keskiarvoa. Korkein alumiinipitoisuus T-risteyksen kohdalla oli 8140 mg/kg ja pienin L-mutkan kohdalla 745 mg/kg. Alamäen kohdalla alumii-



nipitoisuus oli 1420 mg/kg ja Niittylahdessa 2110 mg/kg. Alumiinipitoisuus maantiekuljetusreitien vertailupisteessä on vuosina 1998 – 2000 ollut keskimäärin 790 mg/kg, joten vuonna 2005 havaitut alumiinipitoisuudet olivat tähän verrattuna maantiekuljetusreitien alkupäässä yli 10-kertaisia. Vuonna 2005 alumiinipitoisuus Louhikummussa oli 1550 mg/kg ja Oravin suunnalla 3000 m päässä kaivokselta 614 mg/kg. Alumiinin suhteen pienin tähän asti havaittu pitoisuuskeskiarvo maantiekuljetusreitien varrella on ollut 997 mg/kg vuonna 2000. Vuonna 2001 maantiekuljetusreitien korkein alumiinipitoisuus havaittiin myös T-risteyksessä (6820 mg/kg), joka oli silloin jonkin verran alhaisempi kuin vuonna 2005.

**Koboltin** suhteen maantiekuljetusreitien pitoisuuskeskiarvo oli 5,8 mg/kg vuonna 2005. Tämä oli jonkin verran korkeampi kuin edellisessä tutkimuksessa vuonna 2001 havaittu pitoisuuskeskiarvo 1,7 mg/kg. Vuonna 2005 korkein kobolttipitoisuus havaittiin alamäen kohdalla 11,5 mg/kg ja alhaisin L-mutkan kohdalla 1,5 mg/kg. Vuonna 2005 koboltin pitoisuus Louhikummussa oli 2,2 mg/kg ja Oravin suunnalla 3000 m päässä kaivoksesta 0,9 mg/kg. Koboltin pitoisuus maantiekuljetusreitien vertailupisteessä on vuosina 1998 – 2000 ollut joka kerta analysoitaessa alle 0,5 mg/kg.

**Kromin** suhteen maantiekuljetusreitien pitoisuuskeskiarvo oli 10,3 mg/kg vuonna 2005. Korkein pitoisuus havaittiin T-risteyksen kohdalla 27,4 mg/kg ja alhaisin L-mutkan kohdalla 3,1 mg/kg. Vuonna 2005 kromin pitoisuus Louhikummussa oli 5,9 mg/kg ja Oravin suunnalla 3000 m päässä kaivokselta 1,6 mg/kg. Kromin pitoisuus maantiekuljetusreitien vertailupisteessä on vuosina 1998 – 2000 ollut keskimäärin 1,4 mg/kg. Kromin pienin tähän asti havaittu pitoisuuskeskiarvo maantiekuljetusreitien varrella oli 3,8 mg/kg vuonna 2000.

**Kuparin** suhteen maantiekuljetusreitien pitoisuuskeskiarvo oli 32,6 mg/kg vuonna 2005. Korkein pitoisuus havaittiin alamäen kohdalla 63 mg/kg ja alhaisin L-mutkan kohdalla 9,4 mg/kg. Kuparin pitoisuus maantiekuljetusreitien vertailupisteessä on ollut vuosien 1990 - 2000 aikana keskimäärin 6 mg/kg. Vuonna 2005 kuparipitoisuus Louhikummussa oli 24,9 mg/kg ja Oravin suunnalla 3000 m kaivokselta 7,8 mg/kg. Kuparin pienin tähän asti havaittu pitoisuuskeskiarvo maantiekuljetusreitien varrella oli 9,9 mg/kg vuonna 2001.

**Raudan** suhteen maantiekuljetusreitien pitoisuuskeskiarvo oli 5327,5 mg/kg vuonna 2005. Keskiarvoon vaikutti huomattavasti yhdestä tutkimuspisteestä (T-risteys) analysoitu muita korkeampi rautapitoisuus, joka nosti myös huomattavasti koko maantiekuljetusreitien keskiarvoa. Korkein pitoisuus havaittiin T-risteyksen kohdalla 13900 mg/kg ja alhaisin L-mutkan kohdalla 1020 mg/kg. Rautapitoisuus Louhikummussa oli 4450 mg/kg ja Oravin suunnalla 3000 m kaivokselta 804 mg/kg. Rautapitoisuus maantiekuljetusreitien vertailupisteessä on ollut vuosien 1991 - 2000 aikana keskimäärin 685,2 mg/kg. Raudan pienin tähän asti havaittu pitoisuuskeskiarvo maantiekuljetusreitien varrella oli 1555 mg/kg vuonna 2000.

**Titaanin** suhteen maantiekuljetusreitin pitoisuuskeskiarvo oli 286 mg/kg vuonna 2005. Korkein pitoisuus havaittiin T-risteyksen kohdalla 671 mg/kg ja alhaisin L-mutkan kohdalla 71 mg/kg. Titaanipitoisuus Louhikummussa oli 151 mg/kg ja Oravin suunnalla 3000 m kaivokselta 46 mg/kg. Titaanin pitoisuus maantiekuljetusreitin vertailupisteessä on ollut vuosien 1998 - 2000 aikana keskimäärin 67,1 mg/kg. Titaanin pienin tähän asti havaittu pitoisuuskeskiarvo maantiekuljetusreitin varrella oli 94 mg/kg vuonna 2000.

**Vanadiinin** suhteen maantiekuljetusreitin pitoisuuskeskiarvo oli 12,5 mg/kg vuonna 2005. Korkein pitoisuus havaittiin T-risteyksen kohdalla 28,5 mg/kg ja alhaisin L-mutkan kohdalla 3,7 mg/kg. Vanadiinipitoisuus Louhikummussa oli 7,5 mg/kg ja Oravin suunnalla 3000 m kaivokselta 3,4 mg/kg. Vanadiinin pitoisuus maantiekuljetusreitin vertailupisteessä on ollut vuosien 1998-2000 aikana keskimäärin 2,4 mg/kg. Vanadiinin pienin tähän asti havaittu pitoisuuskeskiarvo maantiekuljetusreitin varrella oli 2,1 mg/kg vuonna 2000.

**Kadmiumin** suhteen maantiekuljetusreitin pitoisuuskeskiarvo oli 0,3 mg/kg vuonna 2005. Korkein pitoisuus havaittiin alamäen kohdalla 0,4 mg/kg ja alhaisin T-risteyksen kohdalla alle 0,2 mg/kg. Kadmiumipitoisuus Louhikummussa oli 0,4 mg/kg ja Oravin suunnalla 3000 m kaivokselta 0,4 mg/kg. Kadmiumin pitoisuus maantiekuljetusreitin vertailupisteessä on ollut vuosien 1998 - 2000 aikana alle 0,15 - alle 0,2 mg/kg, joten vuonna 2005 analysoidut pitoisuudet ovat olleet enintään kaksinkertaisia vertailupisteen "luonnontasoon" verrattuna.

**Magnesiumin** suhteen maantiekuljetusreitin pitoisuuskeskiarvo oli 2137,5 mg/kg vuonna 2005. Pitoisuus T-risteyksessä oli yli kaksinkertainen muihin maantiekuljetusreitin tutkimuspisteisiin verrattuna. Korkein pitoisuus havaittiin T-risteyksen kohdalla 4160 mg/kg ja alhaisin L-mutkan kohdalla 1290 mg/kg. Alamäen ja Niittylahden kohdalla magnesiumipitoisuus oli kummassakin 1550 mg/kg. Magnesiumipitoisuus oli Louhikummussa 1470 mg/kg ja Oravin suunnalla 3000 m kaivokselta 1910 mg/kg. Magnesiumipitoisuus maantiekuljetusreitin vertailupisteessä on ollut vuosien 1998 - 2000 aikana keskimäärin 991,3 mg/kg. Magnesiumin pienin tähän asti havaittu pitoisuuskeskiarvo maantiekuljetusreitin varrella oli 1082 mg/kg vuonna 2000.

**Mangaanin** suhteen maantiekuljetusreitin pitoisuuskeskiarvo oli 309,8 mg/kg vuonna 2005, joka oli tähän asti alhaisin havaittu mangaanin pitoisuuskeskiarvo maantiekuljetusreitin varrella niiden vuosien aikana kun vastaavia tutkimuksia on tehty. Vuonna 2005 korkein pitoisuus havaittiin L-mutkan kohdalla 602 mg/kg ja alhaisin Niittylahden kohdalla 145 mg/kg. Mangaanipitoisuus Louhikummussa oli 203 mg/kg ja Oravin suunnalla 3000 m kaivokselta 274 mg/kg. Mangaanipitoisuus maantiekuljetusreitin vertailupisteessä on ollut vuosien 1998 - 2000 aikana keskimäärin 535 mg/kg, joten miltei kaikki vuonna 2005 analysoidut mangaanipitoisuudet jäivät "luonnontason" alapuolelle. Edellisessä tutkimuk-

nessa vuonna 2001 korkein havaittu mangaanipitoisuus oli 700 mg/kg Oravin suunnassa 800 m kaivokselta.

**Sinkin** suhteen maantiekuljetusreitin pitoisuuskeskiarvo oli 60,7 mg/kg vuonna 2005, joka on alhaisempi kuin edellisessä tutkimuksessa vuonna 2001 havaittu vastaava pitoisuuskeskiarvo 68,5 mg/kg. Vuonna 2005 korkein sinkkipitoisuus havaittiin Niittylahden kohdalla 81,5 mg/kg ja alhaisin T-risteyksen kohdalla 49 mg/kg. Sinkkipitoisuus Louhikummissa oli 74,3 mg/kg ja Oravin suunnalla 3000 m kaivokselta 75,3 mg/kg. Sinkin pitoisuus maantiekuljetusreitin vertailupisteessä on ollut vuosien 1998 - 2000 aikana keskimäärin 34,2 mg/kg. Sinkin pienin tähän asti havaittu pitoisuuskeskiarvo maantiekuljetusreitin varrella on ollut 42,4 mg/kg vuonna 2000.

**Bariumin** suhteen maantiekuljetusreitin pitoisuuskeskiarvo oli 61,6 mg/kg vuonna 2005, joka on alhaisempi kuin edellisessä tutkimuksessa vuonna 2001 havaittu vastaava pitoisuuskeskiarvo 71,8 mg/kg. Vuonna 2005 korkein bariumpitoisuus havaittiin T-risteyksen kohdalla 71,8 mg/kg ja alhaisin Niittylahden kohdalla 55,1 mg/kg. Bariumpitoisuus Louhikummissa oli 53,2 mg/kg ja Oravin suunnalla 3000 m kaivokselta 126 mg/kg. Bariumin pitoisuus maantiekuljetusreitin vertailupisteessä on ollut vuosien 1998-2000 aikana keskimäärin 63,6 mg/kg, joten vuoden 2005 pitoisuuskeskiarvo on samalla tasalla vertailupisteen luonnontasona pidettävän pitoisuuden kanssa. Bariumin pienin tähän asti havaittu pitoisuuskeskiarvo maantiekuljetusreitin varrella on ollut 52,2 mg/kg vuonna 2000.

**Lyijyn** määräysrajana käytettiin 5,0 mg/kg vuonna 2005. Raja alittui miltei kaikissa tutkimuspisteissä, ylittyen hiukan määräysrajasta vain alamaässä (5,4 mg/kg) ja Louhikummissa (5,6 mg/kg). Lyijyn määräysrajana vuonna 1998 käytettiin 10 mg/kg, joka alittui silloin kaikissa näytteenottopaikoissa. Vuoden 2001 tutkimuksessa määräysrajana käytettiin 3 mg/kg, joka silloin ylittyi Niittylahdentien risteyksessä ollen 5,4 mg/kg. Vuonna 2001 yli 4 mg/kg pitoisuus saavutettiin myös Louhikummissa.

Pääosin tai kokonaan määräysrajan alapuolelle tutkituissa näytteissä vuonna 2005 jäivät lyijyn lisäksi myös **arsenin, boorin, beryllium, molybdeenin ja antimonin** pitoisuudet. Myös edellisessä tutkimuksessa vuonna 2001 samat alkuaineet berylliumia lukuun ottamatta jäivät määräysrajan alapuolelle. Suurimmaksi osaksi muualta kuin malmirikasteesta (mm. pelto- ja metsälannoitteista) peräisin olevien päästölähteiden takia tässä yhteydessä ei tarkastella vuonna 2005 tehdyistä analyyseistä **kalsiumia, kaliumia, natriumia, fosforia, rikkiä ja strontiumia** (esiintyy kalkin yhteydessä).

### 3.3 Nikkelipitoisuus maanäytteissä

Maanäytteiden osalta tutkimustuloksia ei voida vertailla aiempien vuosien tuloksiin, koska maanäytteitä ei ole analysoitu ennen vuotta 2005. Aiemmissa tutkimuksissa on keskitytty kasvien sekä marjojen ja sienten metallipitoisuuksien määrittämiseen Enonkosken kaivoksen ympäristössä ja malmirikasteen kuljetusreitien varrella. Maanäytteitä otettiin vuonna 2005 asfaltin reunasta kolmesta kohdasta maantiekuljetusreitien varrelta; kaivosalueelta Juvolantielle johtavan Laukunkankaantien ns. L-mutkasta (rikastejätealtaan kulmasta), noin puolikilometriä eteenpäin jyrkän alamäen varrelta sekä Juvolantien ns. T-risteyksestä. Neljäs näyte otettiin alamäen varrelta 6 m tiestä. Nämä olivat samoja tutkimuspisteitä kuin aiemman seinäsammalanalyysin kohdalla. Savonlinnan seudun luonnontasona pidettävänä vertailupisteinä maanäytteille käytettiin Antosaaren tienhaarasta otettua näytettä, jonka nikkelpitoisuus oli 17,3 mg/kg vuonna 2005.

Maantiekuljetusreitien nikkelpitoisuuden keskiarvo vuonna 2005 oli 72,9 mg/kg, joka oli noin nelinkertainen em. "luonnontasoon" verrattuna. Nikkelpitoisuus L-mutkassa oli 118 mg/kg, alamäen varrella 65,8 mg/kg ja Juvolantien risteyksessä 48,3 mg/kg. Alamäen varrella 6 m tiestä nikkelpitoisuus oli 59,5 mg/kg eli hieman alhaisempi kuin samasta pisteestä lähempänä tietä otetussa näytteessä, joten nikkelpitoisuus laskee tieltä pois päin mentäessä. Maantiekuljetusreitien alkupäässä L-mutkassa nikkelpitoisuus oli noin seitsemän kertaa ja loppupäässä Juvolantien risteyksessä enää noin kolme kertaa vertailupisteen "luonnontasoa" korkeampi.

### 3.4 Muut analysoidut pitoisuudet maanäytteissä

Koska maanäytteitä ei ole analysoitu ennen vuotta 2005, ei tutkimustuloksia voida näiltä osin vertailla aiempien vuosien tuloksiin (Taulukko 1.).

**Alumiinin** suhteen maantiekuljetusreitien pitoisuuskeskiarvo maanäytteissä oli 9173 mg/kg vuonna 2005. Korkein pitoisuus havaittiin alamäen kohdalla 9770,0 mg/kg ja pienin L-mutkan kohdalla 8550 mg/kg. Pitoisuudet eivät juuri poikenneet toisistaan eri tutkimuspisteiden kesken. Alumiinipitoisuus maantiekuljetusreitien vertailupisteessä oli 9720 mg/kg, joten maantiekuljetusreitien varrella alumiinipitoisuudet olivat kaikissa tutkimuspisteissä vertailupisteen luonnontasona pidettävän pitoisuuden tasolla.

**Kobolttin** suhteen maantiekuljetusreitien pitoisuuskeskiarvo maanäytteissä oli 11,2 mg/kg vuonna 2005. Korkein pitoisuus havaittiin alamäen kohdalla 18,1 mg/kg ja pienin alamäen kohdalla 6 m päässä 7,2 mg/kg. Pitoisuus maantiekuljetusreitien vertailupisteessä oli 6 mg/kg, joten maantiekuljetusreitien varrella kobolttipitoisuudet olivat enimmillään noin kolminkertaisia "luonnontasoon" verrattuna.

**Kromin** suhteen maantiekuljetusreitien pitoisuuskeskiarvo maanäytteissä oli 28,8 mg/kg vuonna 2005. Korkein pitoisuus havaittiin alamäen kohdalla 38,4 mg/kg ja pienin alamäen kohdalla 6 m tiestä 17,4 mg/kg. Pitoisuus maantiekul-

jetusreitin vertailupisteessä oli 29,1 mg/kg, joten maantiekuljetusreitin varrella kromipitoisuudet olivat miltei kaikissa tutkimuspisteissä vertailupisteen luonnontasona pidettävän pitoisuuden tasolla.

**Kuparin** suhteen maantiekuljetusreitin pitoisuuskeskiarvo maanäytteissä oli 162 mg/kg vuonna 2005. Korkein pitoisuus havaittiin alamäen kohdalla 6 m tiestä 254 mg/kg, mutta alamäen kohdalla tien reunassa pitoisuus oli miltei sama eli 251 mg/kg. Alamäen kohdalla havaitut korkeammat kuparipitoisuudet vaikuttivat huomattavasti myös koko maantiekuljetusreitin pitoisuuskeskiarvoon. Pienin kuparipitoisuus havaittiin T-risteyksen kohdalla 29,3 mg/kg ja L-mutkassa pitoisuus oli 114 mg/kg. Pitoisuus maantiekuljetusreitin vertailupisteessä oli 21,2 mg/kg, joten maantiekuljetusreitin varrella T-risteystä lukuun ottamatta kuparipitoisuudet olivat noin viisi - kymmenkertaisia ”luonnontasona” pidettävään verrattuna.

**Raudan** suhteen maantiekuljetusreitin pitoisuuskeskiarvo maanäytteissä oli 19300 mg/kg vuonna 2005. Korkein pitoisuus havaittiin alamäen kohdalla 24600 mg/kg ja pienin L-mutkan kohdalla 16600 mg/kg. Pitoisuus alamäen kohdalla 6 m päässä tiestä oli 19200 mg/kg ja T-risteyksessä 16800 mg/kg. Pitoisuus maantiekuljetusreitin vertailupisteessä oli 15800 mg/kg, joten maantiekuljetusreitin varrella rautapitoisuus oli enimmillään noin 1,5-kertaa ”luonnontasoa” korkeampi.

**Titaanin** suhteen maantiekuljetusreitin pitoisuuskeskiarvo maanäytteissä oli 960 mg/kg vuonna 2005. Korkein pitoisuus havaittiin alamäen kohdalla 1090 mg/kg ja pienin L-mutkan kohdalla 860 mg/kg. Pitoisuus alamäen kohdalla 6 m päässä tiestä oli 915 mg/kg ja T-risteyksessä 976 mg/kg, joten titaanipitoisuus ei suuresti vaihdellut eri tutkimuspisteiden kesken. Pitoisuus maantiekuljetusreitin vertailupisteessä oli 900 mg/kg, joten maantiekuljetusreitin varrella titaanipitoisuudet olivat hyvin lähellä tai jopa alhaisempia ”luonnontasoon” verrattuna.

**Vanadiinin** suhteen maantiekuljetusreitin pitoisuuskeskiarvo maanäytteissä oli 38 mg/kg vuonna 2005. Korkein pitoisuus havaittiin alamäen kohdalla 44,4 mg/kg ja pienin alamäen kohdalla 6 m päässä tiestä 32,1 mg/kg. Pitoisuus maantiekuljetusreitin vertailupisteessä oli 36,5 mg/kg, joten maantiekuljetusreitin varrella alamäkeä lukuun ottamatta vanadiinipitoisuudet olivat hyvin lähellä tai jopa alhaisempia ”luonnontasoon” verrattuna.

**Magnesiumin** suhteen maantiekuljetusreitin pitoisuuskeskiarvo maanäytteissä oli 5005 mg/kg vuonna 2005. Korkein pitoisuus havaittiin alamäen kohdalla 6120 mg/kg ja pienin alamäen kohdalla 6 m päässä tiestä 3390 mg/kg. Pitoisuus maantiekuljetusreitin vertailupisteessä oli 5140 mg/kg, joten maantiekuljetusreitin varrella magnesiumipitoisuudet olivat hyvin lähellä tai jopa alhaisempia ”luonnontasoon” verrattuna.

**Mangaanin** suhteen maantiekuljetusreitin pitoisuuskeskiarvo maanäytteissä oli 157 mg/kg vuonna 2005. Korkein pitoisuus havaittiin alamäen kohdalla 174 mg/kg ja pienin alamäen kohdalla 6 m päässä tieltä 132 mg/kg. Pitoisuus maantiekuljetusreitin vertailupisteessä oli 146 mg/kg, joten maantiekuljetus-

reitin varrella mangaanipitoisuudet olivat hyvin lähellä tai jopa alhaisempia ”luonnontasoon” verrattuna.

**Sinkin** suhteen maantiekuljetusreitin pitoisuuskeskiarvo maanäytteissä oli 47,4 mg/kg vuonna 2005. Korkein pitoisuus havaittiin L-mutkan kohdalla 52,3 mg/kg ja pienin alamäen kohdalla 6 m päässä tieltä 38,1 mg/kg. Pitoisuus maantiekuljetusreitin vertailupisteessä oli 47,7 mg/kg, mikä oli miltei sama kuin maantiekuljetusreitin keskiarvo. Sinkkipitoisuudet maantiekuljetusreitin varrella olivat hyvin lähellä tai jopa alhaisempia ”luonnontasoon” verrattuna.

**Bariumin** suhteen maantiekuljetusreitin pitoisuuskeskiarvo maanäytteissä oli 69,1 mg/kg vuonna 2005. Korkein pitoisuus havaittiin alamäen kohdalla 88,7 mg/kg ja pienin alamäen kohdalla 6 m tiestä 42,5 mg/kg, jossa pitoisuus oli noin puolet alhaisempi kuin tienvarrelta otetussa näytteessä. Bariumpitoisuus maantiekuljetusreitin vertailupisteessä oli 60,2 mg/kg, joten maantiekuljetusreitin varrella bariumpitoisuudet olivat lähellä tai jopa alhaisempia luonnontasoon verrattuna.

**Lyijyn** määritysrajana käytettiin 5,0 mg/kg, joka alittui miltei kaikissa tutkimuspisteissä, ylittyen hiukan määritysrajasta vain alamäessä (5,4 mg/kg) ja Louhikummussa (5,6 mg/kg). Pääosin tai kokonaan määritysrajan alapuolelle tutkituissa maanäytteissä jäivät lisäksi pitoisuudet **arseenin, boorin, beryllium, kadmiumin, molybdeenin ja antimonin** osalta. Suurimmaksi osaksi muualta kuin malmirikasteesta (mm. pelto- ja metsälannoitteista) peräisin olevien päästölähteiden takia tässä yhteydessä ei tarkastella analyyseistä **kalsiumia, kaliumia, natriumia, fosforia, rikkiä ja strontiumia** (esiintyy kalkin yhteydessä).

Maanäytteiden perusteella havaittiin alamäen kohdalla otetuissa näytteissä, että pitoisuudet bariumin, kalsiumin, koboltin, kromin, kaliumin, natriumin, raudan, magnesiumin, rikin ja strontiumin osalta olivat lähempänä tietä korkeampi kuin 6 m päässä tiestä otetussa näytteessä. Kuusi metriä kauempana tiestä alkuaineiden pitoisuudet olivat jopa yli puolet alhaisempia kuin lähellä tietä otetussa näytteessä.

Taulukko 1. Maanäytteistä analysoitujen muiden metallipitoisuuksien (mg/kuivapaino-kg) keskiarvot Enonkosken kaivoksen malmirikasteen maantiekuljetusreitin varrella sekä vertailupisteessä (Antosaaren tienhaara) 2005.

	Maantiekuljetusreitti	Vertailupiste
Alumiini	9172,5	9720,0
Koboltti	11,2	6,0
Kromi	28,8	29,1
Kupari	162,1	21,2
Rauta	19300,0	15800,0
Titaani	960,3	900,0
Vanadiini	38,0	36,5
Magnesium	5005,0	5140,0
Mangaani	157,0	146,0
Sinkki	47,4	47,7
Barium	69,1	60,2
Lyijy	5,5	<5

#### 4. JOHTOPÄÄTÖKSET

Analyyseiden mukaan raskasmetalleista suurimmat määritysrajan tai luonnontason ylitykset olivat nikkelpitoisuuksissa. Tutkimustulosten mukaan vaikka seinäsammalten nikkelpitoisuudet ovat selkeästi laskeneet 1990-luvun alkupuolen huippupitoisuuksista, pitoisuudet maantiekuljetusreitillä varrella ovat edelleen paikoin 11...90-kertaisia vertailupisteen luonnontasona pidettävään pitoisuuteen nähden seinäsammalnäytteissä ja maanäytteissä suurimmillaan seitsemänkertaisia vertailupisteen ”luonnontasoon” nähden. Pitoisuudet ovat kuljetusreitillä varrella pääosin sitä alhaisempia mitä kauempana kaivokselta kuljetusreittiä tarkastellaan. Pitoisuudet alenevat myös etäisyyden kasvaessa kuljetusreitillä käytettyjen teiden varsista. Tämä voisi osittain selittää myös seinäsammalnäytteissä havaittuja pitoisuusvaihteluja tutkimuspisteiden ja aiempien vuosien tulosten kesken, koska eri tutkimuspisteissä ja eri vuosina sammalnäyte on mahdollisesti otettu hieman eri etäisyydeltä tiehen katsottuna riippuen siitä kuinka sammalta kussakin kohdassa on kasvanut.

Nikkelin lisäksi selvimmät ”luonnontasoa” korkeammat alkuainepitoisuudet havaittiin kuparin osalta. Tarkastellessa seinäsammalten nikkelpitoisuuksia eri vuosina havaitaan alenema 1990-luvulta 2000-luvulle asti. Myös kuparipitoisuuksissa on ollut selkeä alenema 1990-luvun alkuvuosista 2000-luvulle, joskin vuonna 2005 kuparipitoisuus oli nikkelpitoisuuden tavoin muutamissa tutkimuspisteissä edellistä vuoden 2001 tutkimusta jonkin verran korkeampi. Vuosien 1994 ja 1998 kohdalla havaitaan huomattavasti korkeammat nikkelpitoisuudet verrattuna niitä edeltävien vuosien tuloksiin. Tähän voisi olla selityksenä mittavat maansiirtotyöt, joita kaivosalueen ympäristössä tehtiin, jotta sieltä pääsisi ympäristöön mahdollisimman vähän malmirikastetta sisältäviä valumia vesistöön ja pölyä ilmaan. Toisaalta kaikkia havaittuja muutoksia ja eroja ei voida selittää malmirikastepölyn määrällä vaan mm. näytteenoton erilaisuudella: näytteet on voinut ottaa eri vuosina eri henkilö ja hieman eri etäisyydeltä

tietä, peltoa, sähkölinjaa yms. Myöskin analyysimenetelmissä on voinut olla eroja eri vuosina. Näiden näytteenottoon liittyvien virhelähteiden vuoksi eri päästölähteiden vaikutus näkyy eri tavoin eri vuosien analyysituloksissa.

Aiemmissa tutkimuksissa on havaittu vuonna 1998 ja sen jälkeen analysoitujen muiden alkuaineiden pitoisuuksien valtaosin laskeneen vuoteen 2001. Pitoisuuksien laskua vuodesta 1998 vuoteen 2001 saattaisi selittää se, että ainakin osittain niiden päästölähteet ovat liikenneperäisiä ja siten selittävänä tekijänä voisi olla kaivostoiminnan ja sen jälkihoitotöiden loppumisesta aiheutunut liikennemäärien väheneminen. Kuitenkin vuonna 2005 pitoisuudet sammalnäytteissä olivat useimpien analysoitujen alkuaineiden suhteen korkeammat kuin edellisessä tutkimuksessa vuonna 2001. Osa vuoden 2005 seinäsammalista analysoiduista alkuainepitoisuuksista oli samalla tasolla kuin vuonna 1998. Sen sijaan bariumin, sinkin ja mangaanin pitoisuudet olivat vuonna 2005 alhaisemmat kuin edellisessä tutkimuksessa. Toisaalta malmirikasteen vaikutusta sammalnäytteistä analysoituihin pitoisuuksiin ei ole voitu yksiselitteisesti osoittaa muiden alkuaineiden kuin nikkelin ja kuparin osalta. Muiden analysoitujen alkuaineiden pitoisuuksien vaihtelu näytteenottopaikkojen ja –vuosien välillä aiheutunee enemmänkin erilaisista näytteenottoon liittyvistä virhelähteistä ja / tai ympäröivän maankäytön erilaisuudesta kuin malmirikaste-pölyn sisältämistä ”epäpuhtauksista”. Myös pelto- ja metsälannoitteet sisältävät pieniä määriä epäpuhtauksina tutkimuksessa analysoituja aineita, jotka pääsevät käytön yhteydessä pölynä leviämään ympäristöön. Niiden näkyminen herkissä analyyseissä on mahdollista samaan tapaan kuin tiedetään sähkölinjoista ja autojen katalysaattoreista irtoavan metalleja ympäristöön siinä määrin, että ne näkyvät ko. analyyseissä. Myös sade voi joko lisätä laskeumaa tai huuhtoa pois sammalten pintaan kiinnittyneitä mineraalipartikkeleja ja näin aiheuttaa matalampia mittaustuloksia kuin kuivana kautena.

Eräiden näytteenottopaikkojen läheisyydessä on viljelykäytössä olevia pelloja. Lannoitteiden käyttömääristä pelloilla ei ole kerätty tietoa. Niittylahdentien risteyksen näytteenottopaikassa jotkin metallipitoisuudet ovat olleet koholla. Myös Oravin suunnassa 3000 metrin etäisyydellä kaivosalueesta sijaitseva näytteenottopaikka on antanut useina vuosina poikkeuksellisen korkeita pitoisuuksia. Ainakin näissä paikoissa lähellä sijaitsevan pellon lisäksi päästöt voivat olla osittain peräsin läheiseltä maantieltä ja sähkölinjasta.

Koska seinäsammalnäytteissä vuonna 2005 havaittiin kohonneita nikkeli- ja kuparipitoisuuksia otettiin aiemmista vuosista poiketen vuonna 2005 maantiekuljetusreitillä varrelta myös maanäytteitä. Maanäytteissä havaittiin seinäsammalnäytteitä vähemmän vaihtelua alkuainepitoisuuksissa eri tutkimuspisteiden kesken. Vuodesta 2001 alkaen on luovuttu vuosittain tehtävästä tutkimuksesta. Jatkossa on edelleen tarkoitus ottaa näytteet harkinnan mukaan, kunnes seinäsammalen nikkelpitoisuus saavuttaa lähes taustapitoisuuden tason myös kaivosalueen lähiympäristössä ja maantiekuljetusreitillä varrella.

Malmirikasteen lastauspaikalta Kerimäen aseman ympäristöstä Silvolassa ei tiettävästi ole enää kaivostoiminnan lopettamisen jälkeen otettu näytteitä. Aseman ympäristön tutkiminen tiheästi asuttuna alueena olisi kuitenkin varsin perusteltua alueen nykyisten metallipitoisuuksien selvittämiseksi ja sen myötä



mahdollisten ympäristöriskien arvioimiseksi. Tämän vuoksi olisikin toivottavaa, että paikalliset ympäristönsuojeluviranomaiset mahdollisuuksiensa mukaan teettäisivät esimerkiksi tätä sammal- ja maanäytetutkimusta vastaavan tutkimuksen aseman ympäristössä. Myös aseman lähiympäristössä sijaitsevien kotipuutarhojen tuotteita voitaisiin tutkia.

Liitteessä 1 on esitetty taulukko vuosina 1990 – 2005 otettujen seinäsammalnäytteiden nikkelpitoisuuksista kaivosalueen ympäristössä ja malmirikasteen kuljetusreitillä varrella. Liitteessä 2 on esitetty vastaavat pitoisuudet kuvina malmirikasteen maantiekuljetusreitillä varrella. Liitteessä 3 on esitetty seinäsammalnäytteiden nikkelpitoisuus Louhikummun tutkimuspisteessä vuosina 1992 – 2005. Liitteessä 4 on eräiden muiden metallien pitoisuuksien vuosittaiset keskiarvot vuosilta 1998 – 2005 malmirikasteen kuljetusreitillä varrella (näytteenottoaikojen tulokset laskettu samaan keskiarvoon). Liitteessä 5 on esitetty sammalnäytteiden kuparipitoisuudet maantiekuljetusreitillä varrelta vuosina 1990 – 2005. Liitteessä 6 on esitetty malmirikasteen maantiekuljetusreitillä varrelta analysoituja nikkelpitoisuuksia sammal- ja maanäytteissä vuonna 2005.

## **5. TULOSTEN VERTAILU MUIHIN TUTKIMUKSIIN**

Metsäsammaliin perustuvaa raskasmetallilaskeuman seurantaa käytetään laajasti Pohjoismaissa ja muualla Euroopassa. Sammalet, jäkälät sekä männyn neulaset, versot ja kaarna ovat tavallisimmin käytettyjä tutkimuskohteita kartoitettaessa raskasmetallien leviämistä. Monen metallin pitoisuuksissa on Suomessa etelästä pohjoiseen laskeva suunta. Osa metallipitoisuudesta on myös kaukokulkeutumasta johtuvaa. Koska raskasmetallien pitoisuudet ovat yleensä alhaisia etenkin tausta-alueilla, tulosten tulkinnassa on oltava kriittinen. Myös eri paikkakunnilla tehtäviä tutkimuksia vertailtaessa tulee ottaa huomioon maantieteellisestä sijainnista johtuvat erot, mitkä eivät aina ole yksiselitteisiä. Lisäksi näytteenottoon, näytteiden käsittelyyn ja analysointiin liittyy tekijöitä, jotka vähentävät tulosten keskinäistä vertailukelpoisuutta.

## 5.1 Pohjois-Euroopan sammalkartoitus vuonna 1995

Savonlinnan ympäristönsuojelutoimisto pyysi vuonna 1998 Suomen ympäristökeskukselta lausuntoa Enonkosken kaivoksen ympäristöstä ja malmirikasteen kuljetusreitien varrelta otettujen seinäsammalnäytteiden metallipitoisuuksien analyysituloksista. Saatu lausunto perustui Jaakko Mannion (SYKE/YV) tekemään tulosten vertailuun vertailukohteen ollessa Pohjois-Euroopan sammalkartoitus vuodelta 1995. Lausunnossa todettiin mm., että Enonkosken selvityksen materiaalina ovat olleet samat lajit kuin kartoituksissa yleensä käytetyt sammalet ja lisäksi analyysimenetelmät ovat vertailukelpoiset. Sen sijaan on epäiltävissä, soveltuuko käytetty menetelmä näin lähelle tiestöä, jossa aiheet pölyävät. Vertailtaessa Enonkosken selvityksen tuloksia kartoitukseen, on otettava huomioon, että kartoituksessa vältettiin paikallisia vaikutuksia esimerkiksi keräämällä näytteet vähintään 100 metrin päästä lähimmästä tiestä. Kartoituksessa pyrittiin arvioimaan ilmaperäistä raskasmetallilaskeumaa, josta maaperän tai sen kautta kiertävän pölyn vaikutus oli minimoitu.

Enonkosken selvityksen tuloksia verrattaessa Pohjois-Euroopan sammalkartoitukseen voidaan todeta, että havaittujen pitoisuuksien vaikutuksia maaperän pieneliöstöön ei voida suoraan arvioida tällä aineistolla. Siihen tarvitaan tietoa ainakin humuskerroksen metallipitoisuuksista. Enonkosken selvityksen tuloksia verrattaessa Pohjois-Euroopan sammalkartoitukseen voidaan lisäksi todeta, että kadmium- ja kromipitoisuudet ovat Itä-Suomen tyypillistä tasoa, vaikka muutama kromipitoisuusarvo on Suomen maksimiarvojen tasolla. Taustapisteiden kuparipitoisuudet ovat maan keskiarvon tasolla, mutta useat pisteet samaa tasoa kuin Suomen kuormitetuimmalla Harjavallan alueella. Nikkelipitoisuudet ovat taustapisteelläkin selvästi yli Suomen keskiarvon. Useat pisteet ovat samaa tasoa kuin laajoilla alueilla Kuolan niemimaalla, maksimipitoisuudet jopa korkeampia. Lyijyllä ja arseenilla on molemmilla melko korkeaksi ilmoitettu määritysraja, joten niiden pitoisuustasoa ei voida verrata Pohjois-Euroopan sammalkartoitukseen.

## KIRJALLISUUS

Buse A., Norris D., Harmens H., Bueker P., Ashenden T. ja Mills G. 2003: Heavy metals in European mosses: 2000/2001 survey. The United Nations Economic Commission for Europe International Cooperative Programme on effects of Air Pollution on Natural Vegetation and Crops.

Èeburnis, D., Steinnes, E. & Kvietkus, K. 1999: Estimation of metal uptake efficiencies from precipitation in mosses in Lithuania. *Chemosphere* 38:445-455.

Evans, L.J. 1989: Chemistry of metal retention by soils. *Environ. Sci. Technol.* 23:1046-1056.

Faus-Kessler, T., Dietl, C., Tritschler, J. & Peichl, L. 2001: Correlation patterns of metals in the epiphytic moss *Hypnum cupressiforme* in Bavaria. *Atm. Environ.* 35:427-439.

Fernández, J.A. & Carballera, A. 2001: Evaluation of contamination, by different elements, in terrestrial mosses. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 40:461-468.

Herpin, U. Berlekamp, J., Markert, B., Wolterbeek, B., Grodzinska, K., Siewers, U., Lieth, H. & Weckert, V. 1996: The distribution of heavy metals in a transect of the three states the Netherlands, Germany and Poland, determined with the aid of moss monitoring. *Sci. Tot. Environ.* 187:185-198.

Lodenius M., Tulisalo E., Voigt H-R ja Manninen S. 2004: Ympäristönsuojelutieteen opetusmoniste No. 8, Helsingin yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos.

Pitkänen S., Kohonen T., Saloniemi T. ja Vuorisalo T., 2004: Elohopeapäästöt kaatopaikoilta ympäristöön, Turun seutu: Isosuo, Topinoja, Peltola. Lounais-Suomen ympäristökeskuksen moniste 8/2004.

Poikolainen, Jarmo 2004: Mosses, epiphytic lichens and tree bark as biomonitors for air pollutants – specifically for heavy metals in regional surveys. Oulun yliopisto, Biologian laitos, väitöskirja.

Reimann C., Niskavaara H., Kashulina G., Filzmoser P., Boyd R., Volden T., Tomilina O. & Bogatyrev I. 2001. Critical remarks on the use of terrestrial moss (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) for monitoring airborne pollution. *Environ. Pollut.* 113, 41-57.

Savonlinnan kaupunki, ympäristönsuojelulautakunta: Outokumpu Finnmines Oy:n Enonkosken kaivoksen ympäristön raskasmetallitukimukset vuonna 1990, Ympäristönsuojelulautakunnan julkaisu 1991.

Savonlinnan kaupunki, ympäristönsuojelulautakunta: Outokumpu Finnmines Oy:n Enonkosken kaivoksen ympäristön raskasmetallitukimukset vuonna 1990, Ympäristönsuojelulautakunnan julkaisu 1992.

Savonlinnan kaupunki, ympäristönsuojelulautakunta: Outokumpu Finnmines Oy:n Enonkosken kaivoksen ympäristön raskasmetallitutkimukset vuonna 1992, Ympäristönsuojelulautakunnan julkaisu 1992.

Savonlinnan kaupunki, ympäristönsuojelulautakunta: Seinäsammalen nikkelipitoisuustutkimukset Enonkosken kaivoksen malmirikasteen kuljetusreitillä varrella 1993, Ympäristönsuojelulautakunnan julkaisu 1993.

Savonlinnan kaupunki, ympäristönsuojelulautakunta: Seinäsammalen nikkelipitoisuustutkimukset Enonkosken kaivoksen malmirikasteen kuljetusreitillä varrella 1994, Ympäristönsuojelulautakunnan julkaisu 1994.

Savonlinnan kaupunki, ympäristönsuojelulautakunta: Seinäsammalen nikkelipitoisuustutkimukset Enonkosken kaivoksen malmirikasteen kuljetusreitillä varrella 1995, Ympäristönsuojelulautakunnan julkaisu 1995.

Savonlinnan kaupunki, ympäristönsuojelulautakunta: Seinäsammalen nikkelipitoisuustutkimukset Enonkosken kaivoksen malmirikasteen kuljetusreitillä varrella 1996, Ympäristönsuojelulautakunnan julkaisu 1996.

Savonlinnan kaupunki, ympäristönsuojelulautakunta: Seinäsammalen nikkelipitoisuustutkimukset Enonkosken kaivoksen malmirikasteen kuljetusreitillä varrella 1997, Ympäristönsuojelulautakunnan julkaisu 1997.

Savonlinnan kaupunki, ympäristönsuojelulautakunta: Seinäsammalen nikkelipitoisuustutkimukset Enonkosken kaivoksen malmirikasteen kuljetusreitillä varrella 1994, Ympäristönsuojelulautakunnan julkaisu 1994.

Savonlinnan kaupunki, ympäristönsuojelulautakunta: Seinäsammalen nikkelipitoisuustutkimukset Enonkosken kaivoksen malmirikasteen kuljetusreitillä varrella vuosina 1998-99, Ympäristönsuojelulautakunnan julkaisu 2000.

Savonlinnan kaupunki, ympäristönsuojelulautakunta: Seinäsammalen nikkelipitoisuustutkimukset Enonkosken kaivoksen malmirikasteen kuljetusreitillä varrella vuosina 2000-2001, Ympäristönsuojelulautakunnan julkaisu 2001.

